

Ю. В. Юдин, М. В. Майсурадзе*, А. А. Куклина

Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

*m. v.maisuradze@urfu.ru

Научный руководитель — проф., д-р техн. наук Ю. В. Юдин

ПРИМЕНЕНИЕ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ НАНОСТРУКТУРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЙНИТА КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ HY-TUF

Методом атомно-силовой микроскопии изучена тонкая структура бейнита перспективной конструкционной стали 25Г2С2Н2МА (HY-TUF) после изотермической выдержки. Показано, что бейнит состоит из субпластин, причем температура изотермической выдержки влияет на размер субпластин бейнита.

Ключевые слова: атомно-силовая микроскопия, бейнит, конструкционная сталь, субпластины.

Yu. V. Yudin, M. V. Maisuradze, A. A. Kuklina

APPLICATION OF ATOMIC FORCE MICROSCOPY FOR NANOSTRUCTURAL RESEARCH OF THE BAINITE IN HY-TUF STEEL

The fine structure of bainite of structural steel 25G2S2N2MA (HY-TUF) after isothermal holding was studied by the atomic force microscopy. Bainite consists of a subplates. The temperature dependence of the bainite subplate size has been shown.

Key words: atomic force microscope, bainite, structural steel, subplates.

В настоящее время результаты атомно-силовой микроскопии используются в основном для количественной оценки рельефа поверхности образца с целью выявления высоты пиков, которые характеризуют α -фазу бейнита и проявляются как на нетравленной поверхности, так и после химического травления.

Объектом исследования являлась высокопрочная машиностроительная сталь 25Г2С2Н2МА (HY-TUF) промышленной выплавки, химический состав которой в массовых процентах приведен ниже:

C.....0,24	Si..... 1,42	Mn.....1,35	Cr..... 0,31	Ni..... 1,71
Mo..... 0,4	Cu..... 0,16	Al..... 0,028	P..... 0,008	S..... 0,004

Образцы исследуемой стали размером $10 \times 10 \times 5$ мм подвергали термической обработке в режиме: нагрев до 925°C , выдержка 40 мин, изотермическая заковка в расплаве соли ($50\% \text{KNO}_3 + 50\% \text{NaNO}_3$) при температуре бейнитного превращения $330, 370$ и 430°C . Продолжительность выдержки при каждой температуре составляла 2 ч, что соответствовало достижению максимальной доли бейнитного превращения в данной стали согласно проведенным дилатометрическим исследованиям.

При изучении микрорельефа поверхности образцов посредством атомно-силовой микроскопии на исследуемый участок поверхности устанавливался кантилевер frN11 . Площадь сканирования составляла $14 \times 14, 5 \times 5$ и 3×3 мкм при максимальной скорости сканирования 1 Гц. В результате сканирования были получены массивы данных в координатах X, Y, Z трехмерного пространства, отражающие реальный рельеф поверхности образца. Трехмерные модели поверхностного рельефа были построены при помощи программного обеспечения Surfer 13.

На изображении поверхностного рельефа (рис. 1), полученного методом АСМ, отчетливо видны светлые «ступени», располагающиеся поперек бейнитных пластин и разделяющие отдельные части пластин друг от друга. Наличие подобных ступеней связано с дислокационным сдвиговым характером образования бейнита.

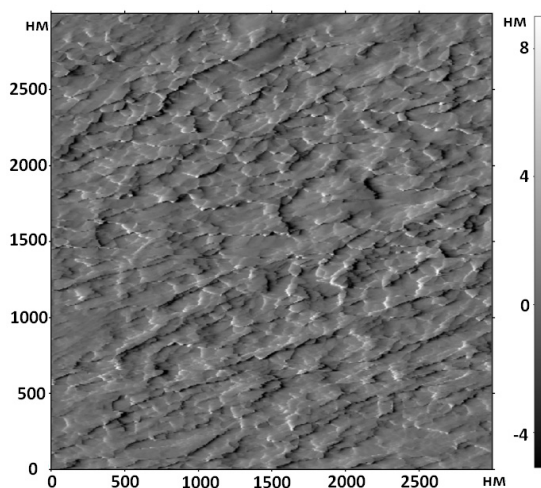


Рис. 1. Микроструктура стали 25Г2С2Н2МА после изотермической выдержки при температуре 370°C (атомная силовая микроскопия)

На рис. 2, б приведена 3D-реконструкция поверхности площадью 1000×1000 нм при температуре изотермической выдержки 370°C . Толщина субпластин составляет 20–60 нм. Аналогичные элементы струк-

туры наблюдаются при температуре изотермического превращения 330 и 450 °С. Расстояние между соседними рядами пластин определяется не только физическими предпосылками процесса образования и роста бейнита, но также расположением бейнитных пластин относительно плоскости шлифа.

Построение 3D-модели позволило количественно оценить характерные особенности бейнитной структуры. Как видно из рис. 2, *б*, рельеф представляет собой чередующиеся ряды возвышенностей и впадин переменной ширины.

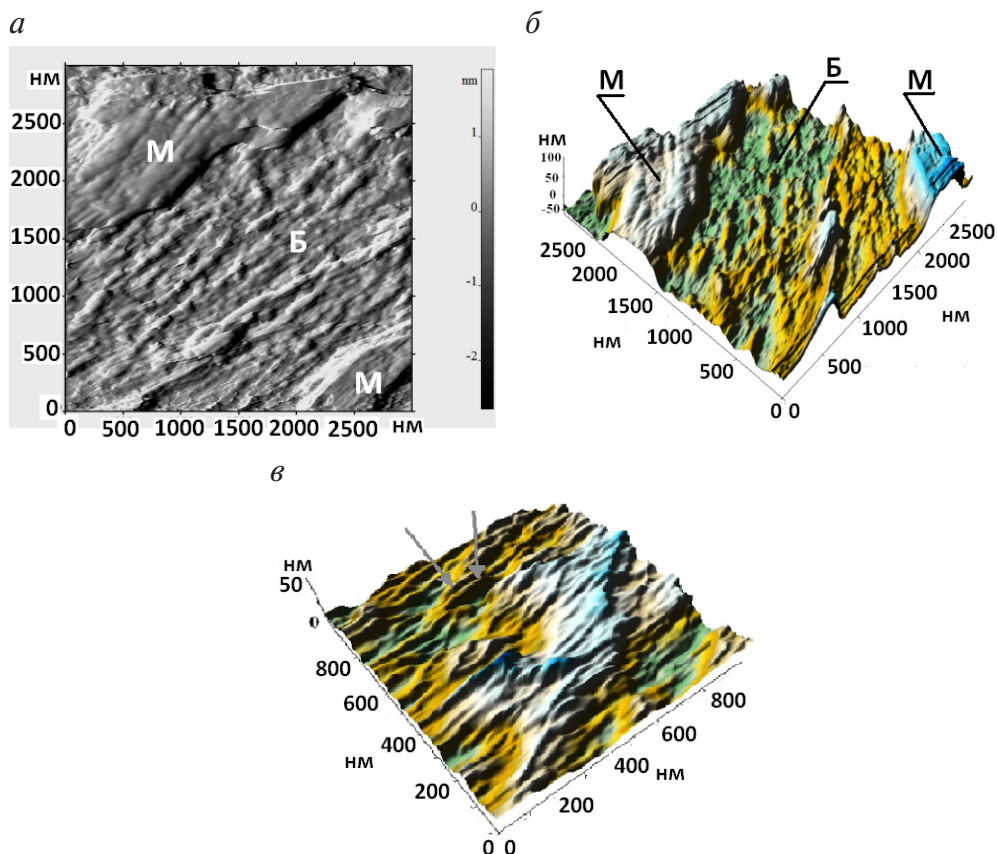


Рис. 2. Микроструктура стали 25Г2С2Н2МА после изотермической выдержки при температуре 430 °С, полученная при помощи атомной силовой микроскопии:

- а* — двумерное изображение поверхности; *б* — трехмерная поверхность бейнита;
в — трехмерная поверхность бейнита, изотермическая выдержка 370 °С
(стрелками показаны отдельные субпластины)

Для каждой температуры изотермической выдержки по нескольким полям зрения было проведено измерение расстояний h между соседними рядами пластин. Общий объем выборки для каждой из темпе-

ратур составил 150–250 значений. На рис. 3 приведены интегральные распределения расстояний между рядами полуразрушенных травлением пластин бейнита. Наблюдается явная зависимость толщины субпластин от температуры изотермической выдержки, причем с понижением последней значение медианной толщины субпластин существенно уменьшается: от 75 нм при температуре 450 °С до 20 нм при температуре 330 °С.

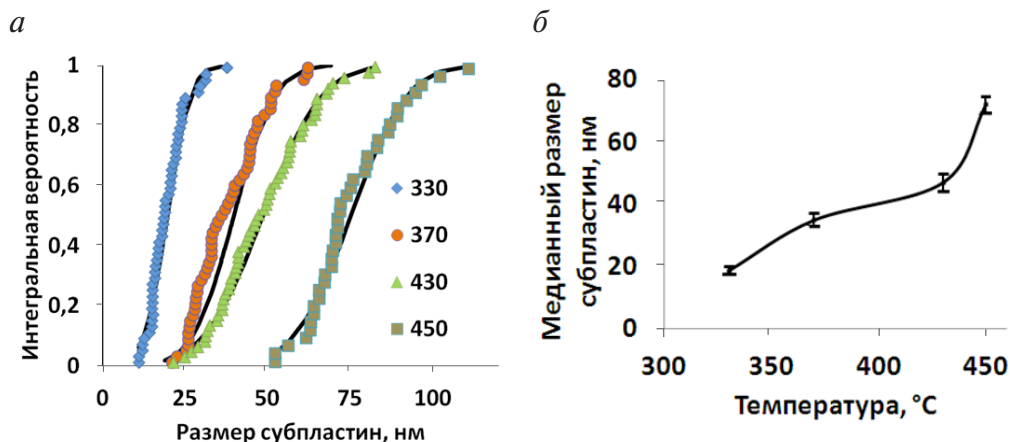


Рис. 3. Зависимость распределения размеров субпластин:

а — интегральное распределение для температур изотермической выдержки 330, 370, 430, 450 °С, сталь 25 Г2С2Н2МА (сплошными линиями показаны расчетные значения для нормального распределения); *б* — зависимость медианного размера от температуры изотермической выдержки

Методом атомно-силовой микроскопии выявлено наличие субпластин, составляющих бейнитную структуру. Показано, что толщина субпластин зависит от температуры образования бейнита: с повышением температуры от 330 до 450 °С толщина субпластин увеличивается от (20 ± 2) до (76 ± 5) нм.